

Implementasi Audio Equalizer Digital Grafis dengan Digital Signal Processor Board OMAP-L137

Hartono Pranjoto¹, Diana Lestariningsih, Adrian Suryadinata

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
e-mail: ¹pranjoto@yahoo.com

ABSTRAK

Sebuah equalizer audio digital dibuat dengan menggunakan *Digital Signal Processor Board* OMAP-L137 dan tampilan tombol dirancang secara digital dengan menggunakan komputer. Equalizer audio grafis (*audio graphic equalizer*) tradisional dengan tombol geser (*slider button*) akan digantikan dengan sebuah tampilan pada layar komputer yang mirip dengan tampilan tradisional. Equalizer dibuat dengan menggunakan pemisahan kanal audio 2/3 oktaf untuk jalur kiri dan jalur kanan dirancang sesuai dengan standar baku yang dituangkan dalam ISO 266 tahun 1997, IEC 61260/1260 tahun 1995 dan ISO 3 tahun 1973. Pada standar tersebut juga disebutkan lebar pita setiap kanal frekuensi dengan *bandwidth* -3dB pada *bandpass filter* dengan penguatan maximum/ minimum +/-6dB pada setiap kanal frekuensi (kiri-kanan independen).

Komponen utama equalizer adalah *bandpass filter* dengan *center-frequency* yang telah ditentukan berdasarkan standar yang berlaku dengan lebar pita (*bandwidth*) sebesar yang telah ditentukan sesuai dengan ISO 266 tahun 1997 seperti yang telah disebutkan di atas. Penentuan lebar pita adalah dengan menggunakan attenuasi sebesar -3dB pada kedua sisi dari *bandpass filter* tersebut yang juga disebutkan dalam standar. Implementasi *bandpass filter* adalah dengan menggunakan *filter* Butterworth orde 1 dan pengubah dari *lowpass filter* Butterworth orde 1 (analog) menjadi *bandpass filter* orde 1 (digital) menggunakan metode *Bilinear Z-transform*.

Implementasi dari *filter* digital tersebut adalah sebuah prosesor sinyal dari Texas Instruments dengan modul SDK OMAP-L137 dari Texas Instruments dimana prosesor tersebut mampu melakukan penghitungan secara cepat untuk sebuah sistem pemrosesan sinyal digital. Penghitungan pada setiap *bandpass filter* yang digunakan dievaluasi pada amplitudo, respons fase, dan lebar pita. Hasil penghitungan untuk setiap *filter* dan juga hasil akhir dari implementasi *filter* ini secara keseluruhan akan dipaparkan dan kinerja modul OMAP-L137 untuk menangani semua filter tersebut tanpa masalah akan dibahas.

Kata kunci: digital equalizer 2/3 oktaf, digital signal processing, OMAP-L137, TMS320C674x

ABSTRACT

A digital audio equalizer is implemented using a *Digital Signal Processor Board* OMAP-L137 with display using a computer monitor with digital control. Traditional audio equalizer with sliding buttons is replaced with a display on a computer screen that is similar to a traditional equalizer-look. The equalizer designed here is a 2/3 octave audio equalizer with left and right audio channel designed in accordance with the standards set forth in ISO 266 1997, IEC 1995 and ISO 61260/1260 3 1973. The standards also mentioned wide band every frequency channels with a bandwidth of

bandpass filter with a -3dB at strengthening maximum / minimum +/- 6dB on any frequency channel (left-right independent).

The equalizer main component is bandpass filter with a center-predetermined frequency based on standards for the bandwidth of which have been determined in accordance with ISO 266 and so on as mentioned above. Determination is to use the ribbon width of -3dB attenuation on both sides of the bandpass filter, which was also mentioned in the standard. Implementation bandpass filter is to use a Butterworth filter of order 1. The transformation from Butterworth 1st order low pass filter 1 (analog) into a first order bandpass filter (digital) is bilinear Z-transform.

Implementation of the digital filter is a signal processor from Texas Instruments with SDK module OMAP-L137 processor from Texas Instruments which is able to perform calculations quickly to a digital signal processing system. Every computed bandpass filter will be evaluated fir is amplitude, phase response and bandwidth. The result of the computation for each bandpass filter in general and final implementation will be presented. The performance of OMAP-L137 to handle all the filters without any problems will be presented

Keywords: *digital equalizer 2/3 oktaf, digital signal processing, OMAP-L137, TMS320C674x*

PENDAHULUAN

Sebuah equalizer adalah bagian yang amat penting dari sebuah sistem audio profesional. Komponen ini bertanggung jawab terhadap semua perubahan karakteristik suara suatu tempat dengan mengubah / mengontrol *output* frekuensi dari sistem audio tersebut. Dengan sebuah equalizer yang bagus, kualitas suara dapat diperbaiki menjadi lebih sempurna walaupun terdapat keterbatasan ruang tempat mendengarkan ataupun keterbatasan kualitas dari komponen audio lainnya.

Umumnya equalizer grafis untuk audio memiliki tombol-tombol geser sehingga kalau dilihat secara sepintas akan membentuk sebuah grafik spektrum pada lebar pita suara. Jumlah tombol geser untuk beragam equalizer juga berbeda untuk beberapa macam equalizer. Sebuah equalizer audio dengan lebar pita 1 oktaf akan memiliki delapan buah kontrol geser untuk seluruh spektrum suara mulai dari 20Hz hingga 20.000 Hz, sehingga dibutuhkan delapan buah *bandpass filter*. Untuk sebuah equalizer dengan lebar pita 2/3 oktaf digunakan 15 *bandpass filter* untuk kanal audio kiri dan 15 *bandpass filter* untuk kanal audio kanan. Sedangkan untuk sebuah equalizer 1/3

oktaf, dibutuhkan 31 *bandpass filter* atau 31 kanal frekuensi. Secara umum sebuah audio profesional adalah sistem stereo dengan pembagian kanal kiri dan kanan sehingga total *bandpass filter* untuk equalizer 1/3 oktaf adalah 62 slider untuk 62 *bandpass filter* dan untuk *equalizer* 2/3 oktaf digunakan 30 slider untuk 30 *bandpass filter*. Jumlah filter untuk kedua macam equalizer tersebut dituangkan dalam ISO 266 tahun 1997, IEC 61260/1260 tahun 1995 dan ISO 3 tahun 1973

Penggunaan slider sebagai pengontrol pada *bandpass filter* di equalizer pada umumnya (*analog equalizer*) juga memiliki permasalahan tersendiri bagi operator yaitu kesulitan dalam pengembalian parameter slider ke posisi awal setelah adanya perubahan. Sebagai contoh apabila posisi slider dari 2 dB dipindah ke 3 dB, bila dikembalikan lagi ke posisi 2 dB, posisi slider sering tidak kembali tepat pada posisi awal karena adanya keterbatasan mekanik pada slider tersebut.

Slider pada tombol tersebut juga memiliki masalah mekanik lain yaitu keausan barang karena sering digunakan. Masalah yang terjadi adalah respons dari slider yang tidak maksimum karena keausan pada bagian tertentu dari slider

yang sering digeserkan menjadi lebih mudah aus.

Dengan menggunakan slider digital dan juga nilai digital yang dikeluarkan oleh slider untuk melakukan kontrol pada equalizer, maka aspek keterbatasan mekanik akan teratasi. Juga untuk masalah keausan pada slider mekanik tidak akan dijumpai pada sistem digital ini karena sistem digital tidak akan mengalami masalah keausan.

LANDASAN TEORI

Sebuah equalizer pada prinsipnya adalah kumpulan dari beberapa *bandpass filter* untuk mengontrol respon frekuensi pada suatu *sound-system*. Dengan adanya perubahan respon frekuensi pada frekuensi tertentu, maka karakter suara secara total akan berubah dan diharapkan dengan perubahan tersebut, kualitas suara secara umum menjadi lebih baik. Terdapat beberapa tipe equalizer tergantung dari *filter* yang digunakan dan pada diskusi ini, yang dibahas adalah tipe *graphic equalizer*. Kontrol dari equalizer berupa kumpulan *bandpass filter*, dengan menggunakan slider sebagai kontrol, dengan demikian maka bentuk slider akan menyerupai sebuah grafik spektrum frekuensi.

Secara umum grafik equalizer mempunyai tiga jenis, yaitu 1 oktaf dengan 8 *bandpass filter*, 2/3 oktaf dengan 15 *bandpass filter*, dan 1/3 oktaf dengan 31 *bandpass filter*. Equalizer 1/3 oktaf adalah yang paling baik untuk melakukan kontrol terhadap suara, walaupun pengoperasiannya menjadi jauh lebih sulit. Panggung pertunjukkan musik pada umumnya menggunakan equalizer 2/3 oktaf untuk melakukan kompensasi terhadap akustik dan karakteristik suara, karena equalizer dapat:

1. Memperbaiki respon frekuensi dari *speaker*
2. Kompensasi pada respon frekuensi *speaker* akibat peletakan *speaker*
3. Memperbaiki masalah akustik ruang
4. Mereduksi *feedback* / umpan balik
5. Memperbaiki karakteristik *microphone*, akibat salah posisi, penggunaan tidak tepat, memperbaiki kejernihan dan kejelasan suara.

Grafik equalizer yang dirancang adalah 2/3 oktaf dengan respon frekuensi sesuai dengan standar baku yang dituangkan dalam ISO 266 tahun 1997, IEC 61260/1260 tahun 1995 dan ISO 3 tahun 1973. Standar tersebut menentukan lebar pita / *bandwidth*, frekuensi tengah filter. Tabel I adalah hasil perhitungan untuk frekuensi grafik equalizer 2/3 oktaf sesuai dengan panduan di atas.

PENGHITUNGAN FILTER

Filter yang digunakan dalam perancangan equalizer ini adalah jenis *filter* IIR yang mempunyai padanan pada *filter* analog dengan persamaan pada *s-domain*..

Prototipe *filter* yang dibuat adalah *filter* Butterworth orde 1 dimana *filter* ini memiliki respon fase yang linier dan dapat dikontrol dengan mudah. Selain fase, respon frekuensi pada *filter* ini cukup tajam yaitu sebesar 6dB/ oktaf. Persamaan awal dari filter Butterworth (*lowpass filter*) dalam domain *s* adalah:

$$H(s) = \frac{1}{s+1} \quad (1)$$

Untuk melakukan pengalihan dari *lowpass filter prototype* menjadi *bandpass filter* dan perubahan *s-domain* (analog) menjadi *z-domain* (digital) maka dibutuhkan persamaan sbb:

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_{c_{low}} \quad (2)$$

$$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot f_{c_{high}} \quad (3)$$

$$\omega'_1 = \tan\left(\frac{\omega_1}{2 \cdot F_S}\right) \quad (4)$$

$$\omega'_2 = \tan\left(\frac{\omega_2}{2 \cdot F_S}\right) \quad (5)$$

$$\omega_0^2 = \omega'_1 \cdot \omega'_2 \quad (6)$$

$$W = \omega'_2 - \omega'_1 \quad (7)$$

$$a_0 = 1 + \omega_0^2 + W \quad (8)$$

$$a_1 = \frac{-2 + (2 \cdot \omega_0^2)}{a_0} \quad (9)$$

$$a_2 = \frac{1 + \omega_0^2 - W}{a_0} \quad (10)$$

$$b_0 = \frac{W}{a_0} \quad (11)$$

$$b_2 = -\frac{W}{a_0} \quad (12)$$

Dimana:

$f_{c_{low}}$ = frekuensi cutoff bawah

$f_{c_{high}}$ = frekuensi cutoff atas

F_S = frekuensi sampel pada equalizer

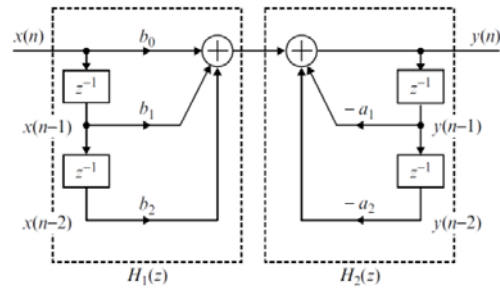
Tabel I: Daftar frekuensi tengah dan *bandwidth* tiap frekuensi

Batas bawah	Freq tengah	Batas atas
19.95	25	31.62
31.62	40	50.12
50.12	63	79.43
79.43	100	125.89
125.89	160	199.53
199.53	250	316.23
316.23	400	501.19
501.19	630	794.33
794.33	1000	1258.93
1258.93	1600	1995.26
1995.26	2500	3162.28
3162.28	4000	5011.87
5011.87	6300	7943.28
7943.28	10000	12589.25
12589.25	16000	19952.62

Persamaan akhir dari filter tersebut dalam *z-domain* adalah:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (13)$$

Dimana untuk melakukan realisasi filter tersebut akan digunakan *Direct Form I Structure* seperti yang terlihat pada Gambar 1. Dengan *structure* ini, maka implementasi dapat segera diubah dari *z-domain* pada persamaan (13) menjadi persamaan dalam *time-domain/* domain waktu seperti yang terlihat pada persamaan (14).



Gambar 1. Diagram blok *Direct Form I Structure*

$$y(n) = b_0 x(n) + b_1 x(n-1) + b_2 x(n-2) + a_1 y(n-1) + a_2 y(n-2) \quad (14)$$

Persamaan (14) di atas akan digunakan untuk membuat filter dalam bentuk program yang akan diimplementasikan pada perangkat Texas Instruments OMAP-L137.

Hasil penghitungan untuk semua *bandpass filter* beserta koefisien yang didapatkan terlihat pada Tabel 2 berikut.

IMPLEMENTASI PERANGKAT

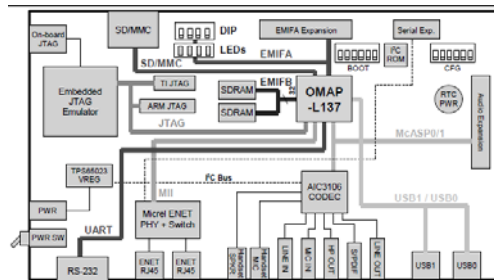
Realisasi pembuatan filter digital akan dilakukan dengan menggunakan *System Development Kit* (SDK) OMAP-L137 dari Texas Instruments dimana didalamnya terdapat mikroprosesor TMS320C674x dan *analog-to-digital converter* (ADC) dan *digital-to-analog converter* (DAC) tipe AIC3106 dan di dalamnya juga telah terdapat CODEC (*compressor decompressor*) yang diimplementasikan secara *hardware* untuk mempercepat transfer data. *Output/input* dari AIC3106 langsung

dapat digunakan tanpa diperlukan tambahan op-amp untuk kebutuhan sinyal dengan koneksi RCA dan *plug microphone* 3.5mm. Diagram blok

perangkat tersebut dapat dilihat pada Gambar 2a, sedangkan Gambar 2b adalah foto dari *board* yang digunakan untuk equalizer 2/3 oktaf.

Tabel 2 Hasil perhitungan koefisien bandpass filter

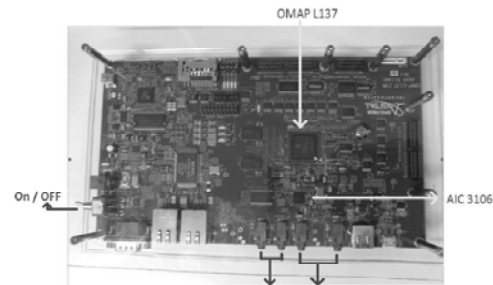
Freq tengah	a_1	a_2	b_0	b_2
25	-0.0000108	0.9984736	0.0007632	-0.0007632
40	-0.0000271	0.9975813	0.0012094	-0.0012094
63	-0.0000681	0.9961707	0.0019147	-0.0019147
100	-0.0001708	0.9939368	0.0030316	-0.0030316
160	-0.0004283	0.9904067	0.0047966	-0.0047966
250	-0.0010729	0.9848395	0.0075802	-0.0075802
400	-0.0026827	0.9760772	0.0119614	-0.0119614
630	-0.0066901	0.9623459	0.0188271	-0.0188271
1000	-0.0166104	0.9409611	0.0295195	-0.0295195
1600	-0.0409449	0.9079782	0.0460109	-0.0460109
2500	-0.0997192	0.8578207	0.0710897	-0.0710897
4000	-0.2378419	0.7830871	0.1084565	-0.1084565
6300	-0.5460910	0.6746917	0.1626542	-0.1626542
10000	-1.1633021	0.5222899	0.2388550	-0.2388550
16000	-2.0991433	0.3131388	0.3434306	-0.3434306



Gambar 2a. Diagram blok Texas Instruments OMAP-L137.

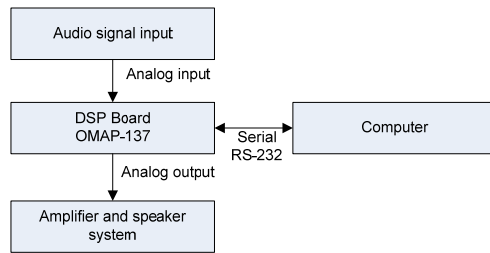
Koneksi untuk audio *input* dan *output* akan menggunakan jalur *input* dan *output* 'LINE IN' dan 'LINE OUT'. Walaupun dibutuhkan *output* menuju ke sebuah *headset* maka dapat dihubungkan ke konektor 'HEADSET SPKR'.

Kontrol terhadap equalizer dilakukan dengan menggunakan sebuah komputer dengan koneksi serial RS-232 yang dihubungkan dengan RS-232 yang terdapat pada koneksi OMAP-L137. Secara keseluruhan, koneksi untuk sistem equalizer dengan perangkat *test* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2b. Gambar fotograf Texas Instruments OMAP-L137.

Gambar 4 adalah tampilan pada layar komputer untuk mengontrol respon frekuensi *filter* tersebut. Simulasi pada tombol geser dapat dilakukan dengan menggunakan *mouse* komputer sehingga akan membentuk grafik. Baris frekuensi atas adalah untuk jalur kanal audio kiri sedangkan baris kanan adalah untuk jalur kanal audio kanan. Pada tampilan ini ada beberapa hal yang tidak dapat dilakukan pada *equalizer* analog seperti *duplicate*, *join* dan *flat*. Penggunaan tampilan ini telah didiskusikan pada makalah lain.



Gambar 3. Perangkat koneksi *input/output* analog dan interkoneksi untuk kontrol.



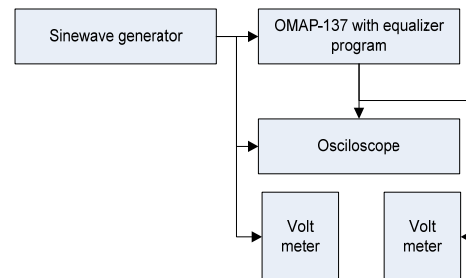
Gambar 4. Tampilan kontrol equalizer digital dengan layar komputer.

Tampilan yang paling penting pada equalizer digital adalah kemampuan untuk menyimpan memori *setting* pada equalizer tersebut. Hal ini adalah fitur paling mutakhir yang dibutuhkan pada sebuah equalizer karena seorang operator tidak perlu melakukan *setting* ulang pada sistem yang telah ada, dan hasil dari memori ini akan sama dengan *setting* yang sebelumnya.

TEST DAN HASIL EVALUASI

Test dan evaluasi pada sistem dilakukan dengan menggunakan perangkat *function/sinewave generator*, *voltmeter*, dan *oscilloscope* dengan konfigurasi yang diilustrasikan pada Gambar 5. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa sinyal *output* hasil pemrosesan secara digital dibandingkan dengan sinyal *input* sebelum dilakukan pemrosesan. Dengan adanya

perbandingan seperti ini, maka sinyal hasil perhitungan dan telah dikonversikan menjadi sinyal analog akan dibandingkan langsung dengan sinyal dari *input*.



Gambar 5. Sistem yang digunakan untuk mengevaluasi audio equalizer.

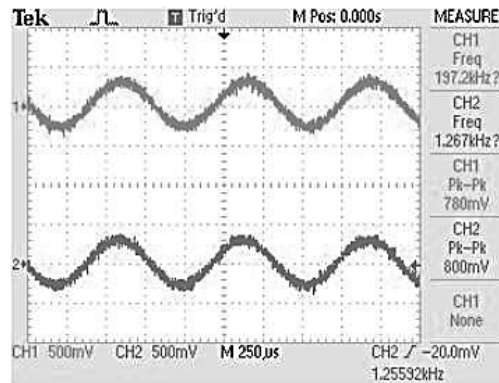
Sistem yang digambarkan di atas akan digunakan sebanyak 15 kali untuk 15 macam *bandpass filter* seperti yang tertera pada Tabel 2. Salah satu hasil observasi pada *bandpass filter* 1 kHz dengan sinyal *input* 1.26 kHz dan tegangan *input* 1Volt menghasilkan *output* seperti terlihat pada Gambar 6. Observasi pada filter yang sama dengan sinyal 1.57 kHz terlihat pada Gambar 6b.

Untuk melakukan *test* terhadap *bandpass filter* 1 kHz dilakukan penyapuan frekuensi (*frequency sweep*) mulai dari 600 Hz hingga 1.6 kHz dan menghasilkan grafik seperti yang terlihat pada Gambar 7.

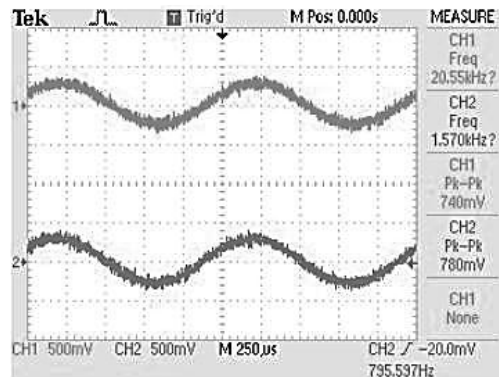
Pengukuran juga dilakukan untuk semua *bandpass filter* dengan hasil dibuat dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 7. Hasil grafik yang diperoleh adalah serupa.

mengaktifkan semua *filter* kanal audio jalur kanan dan kiri yang juga bertujuan untuk memastikan bahwa semua kanal berfungsi dengan baik. Demikian juga untuk prosesor DSP, pengujian dilakukan untuk mengetahui bahwa prosesor tersebut mampu untuk melakukan proses filtrasi *audio* pada

frekuensi sampel 48 kHz tanpa ada efek *underrun* atau efek 'ketinggalan' sinyal dimana 48 kHz adalah frekuensi penyampelan standar sesuai dengan referensi ISO 61260 tahun 1995.



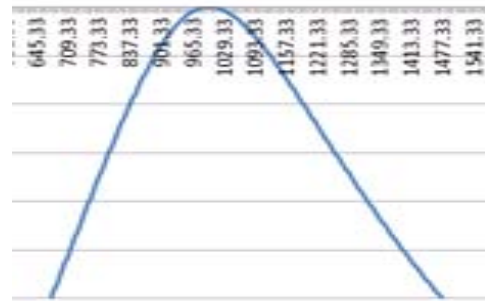
Gambar 6a. Observasi *bandpass filter* 1 kHz dengan sinyal input 1.26 kHz sevesar 1Volt.



Gambar 6b. Observasi *bandpass filter* 1 kHz dengan sinyal input 1.57 kHz sebesar 1Volt.

Observasi pada efek *underrun* dilakukan dengan melihat pada *oscilloscope* pada salah satu kanal, dengan semua *filter* difungsikan dan tidak terlihat efek tersebut karena sinyal yang dihasilkan menyerupai sinyal *input*.

Hasil observasi pada frekuensi tengah (*center frequency*) untuk setiap *bandpass filter* untuk equalizer dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 7. Hasil observasi *bandpass filter* 1 kHz

Tabel 3 Tabel pergeseran frekuensi puncak *filter*

Perancangan	Realisasi	Error %
25 Hz	25 Hz	0 %
40 Hz	40 Hz	0 %
63 Hz	63 Hz	0 %
100 Hz	100 Hz	0 %
160 Hz	160 Hz	0 %
250 Hz	250 Hz	0 %
400 Hz	400 Hz	0 %
630 Hz	630 Hz	0 %
1000 Hz	1000 Hz	0 %
1600 Hz	1600 Hz	0 %
2500 Hz	2500 Hz	0 %
4000 Hz	4000 Hz	0 %
6300 Hz	6465 Hz	2,6 %
10000 Hz	11169 Hz	11,69 %
16000 Hz	16024 Hz	0.15 %

Pada table tersebut terlihat bahwa ada pergeseran cukup besar pada frekuensi 10 kHz dan sedikit pada frekuensi 6.3 dan 16 kHz. Dan ini dapat dikompensasikan dengan sedikit mengubah penghitungan pada pembubatan filter digital. Praktek pengubahan parameter sering dilakukan pada filter digital.

Observasi terakhir yang dilakukan adalah dengan cara memainkan suatu komposisi musik dan diperdengarkan. Hasil akhirnya adalah suara musik menyerupai seperti aslinya. Efek pada equalizer juga dievaluasi, seperti mengurangi atau menambahkan *power* pada daerah tertentu.

Hasil observasi penggunaan didengarkan dapat dilihat pada Tabel 4. equalizer ini secara audio dan

Tabel 4. Hasil evaluasi equalizer secara audio

Judul lagu, penyanyi	Instrumen	Frekuensi	Hasil	Keterangan
Overfly, Haruna Luna	Bass, (41 Hz – 6KHz)	Boost 100 Hz	Berhasil	Suara Bass menjadi lebih menonjol / lebih keras / jelas terdengar di lagu,
Overfly, Haruna Luna	Vokal penyanyi (100 Hz – 12KHz)	Boost, 250 Hz	Berhasil	Suara vocal terdengar lebih keras dan menonjol di dalam lagu.
Overfly, Haruna Luna	Gitar (100 Hz – 12 KHz)	Boost, 2,5 KHz	Berhasil	Suara gitar menjadi lebih jelas terdengar di dalam lagu
My God Hilsong United	Hi-Hat (250 Hz – 12 KHz)	Boost, 10 KHz	Berhasil	Suara High Head menjadi lebih tajam terdengar di lagu
My God, Hilsong United	Cymbal (250 Hz – 12 KHz)	Boost, 16 KHz	Berhasil	Suara cymbal menjadi lebih tajam terdengar di lagu

KESIMPULAN

Suatu sistem equalizer digital dengan frekuensi sampel 48 kHz menggunakan perangkat keras OMAP-L137 dari Texas Instruments telah dikembangkan. Equalizer tersebut dibangun dengan menggunakan *bandpass filter* digital dengan persamaan Butterworth sebanyak 15 kanal untuk menghasilkan separasi 2/3 oktaf untuk kanal audio bagian kiri dan kanan. Observasi dilakukan dengan mengevaluasi setiap *filter*, kemudian secara bersamaan mengaktifkan setiap kanal dengan sinyal *input* secara terkontrol. Observasi terakhir dilakukan dengan menggunakan sinyal *audio* dan hasilnya dievaluasi langsung.

Hasil dari observasi menunjukkan bahwa sistem telah berhasil dibuat dan sinyal audio telah dapat dimodifikasi sesuai dengan keinginan pada equalizer audio grafis.

AKHIR KATA

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya atas dukungan pada proyek implementasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Pranjoto, A. Suryadinata, "Audio Digital Equalizer 2/3 Octave Using OMAP-L137 as the Signal Processor with Digital Control", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* (ISSN 1991-8178), 8(14), pp 7-12, 2014
- [2] Spectrum Digital, OMAP-L137 Evaluation module Technical reference, Spectrum Digital INCORPORATED, Spectrum digital, 2009
- [3] Texas Instrument, OMAP-L137 hardware setup http://processors.wiki.ti.com/index.php/OMAPL137_EVM_Hardware_Setup
- [4] International Electrotechnical Commission, IEC 61260 Electroacoustics – Octave-band and Fractional-octave-band Filters, 1995.
- [5] Kahrs, M., Brandenburg, K., Applications Of Digital Signal Processing To Audio And Acoustics, Kluwer Academic Publishers New York, Kluwer Academic Publishers, New York, 2002.

- [6] Zölzer, U., (Ed.) DAFX - Digital Audio Effects, John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, England, 2002.
- [7] Spanias, A., Painter, T., Atti, V. (Eds), Audio Signal Processing And Coding, Wiley-Interscience, John Wiley & sons, Hoboken, New Jersey, 2006.
- [8] Chassaing, R., Reay, D., Digital Signal Processing and Applications with the TMS320C6713 and TMS320C6416 DSK, 2nd Ed., Wiley-Interscience, John Wiley & sons, Hoboken, New Jersey, 2008.
- [9] Chassaing, R., DSP Applications Using C And The TMS320c6x DSK, Wiley-Interscience, John Wiley & sons, Hoboken, New Jersey, 2002.
- [10] Kehtarnavaz, N., Real-Time Digital Signal Processing Based on the TMS320C6000, Newnes/ Elsevier, Kidlington, Oxford, England, 2005.
- [11] Mcloughlin, I., Applied Speech and Audio Processing, Cambridge University Press, 2009.
- [12] Malepati, H., Digital Media Processing DSP Algorithms Using C, Newnes/ Elsevier, Kidlington, Oxford, England, 2010.